

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 11 NOV 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年 1 1 月 1 4 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 3 8 5 3 7 0  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 3 8 5 3 7 0 ]

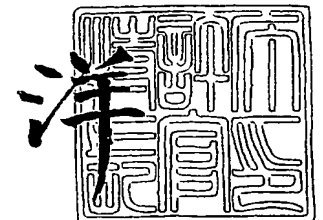
出      願      人            京セラ株式会社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年    7 月 2 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 0000329461  
【提出日】 平成15年11月14日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 41/08  
【発明者】  
    【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 1 号 京セラ株式会社鹿児島国分工場内  
    【氏名】 岡村 健  
【発明者】  
    【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 4 号 京セラ株式会社総合研究所内  
    【氏名】 坂上 勝伺  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006633  
    【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地  
    【氏名又は名称】 京セラ株式会社  
    【代表者】 西口 泰夫  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 005337  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項 1】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物が周期律表 V I I I 族金属および I b 族金属を主成分として、前期 V I I I 族金属の含有量を M 1 (重量%)、I b 族金属の含有量を M 2 (重量%) としたとき、 $0 < M 1 \leq 15$ 、 $85 \leq M 2 < 100$ 、 $M 1 + M 2 = 100$  を満足することを特徴とする積層型圧電素子。

## 【請求項 2】

前記 V I I I 族金属が N i、P t、P d、R h、I r、R u、O s のうち少なくとも 1 種以上であり、I b 族金属が C u、A g、A u のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする請求項 1 記載の積層型圧電素子。

## 【請求項 3】

前記 V I I I 族金属が P t、P d のうち少なくとも 1 種以上であり、I b 族金属が A g、A u のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 2 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

## 【請求項 4】

前記 I b 族金属が C u であることを特徴とする請求項 1 乃至 2 のいずれかに記載の積層型圧電素子

## 【請求項 5】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの素子抵抗を  $\rho A g$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの素子抵抗を  $\rho P d$  とした時、前記素子抵抗  $\rho$  が、 $\rho A g < \rho < \rho P d$  となることを特徴とする積層型圧電素子。

## 【請求項 6】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの内部電極の導電率を  $\sigma A g$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの内部電極導電率を  $\sigma P d$  とした時、前記内部電極導電率  $\sigma$  が、 $\sigma P d < \sigma < \sigma A g$  となることを特徴とする積層型圧電素子。

## 【請求項 7】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が  $1 \mu m$  以上であるものが金属組成物の 80 体積%以上存在することを特徴とする積層型圧電素子。

## 【請求項 8】

前記内部電極中に金属組成物とともに無機組成物を添加したことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

## 【請求項 9】

前記無機組成物が  $P b Z r O_3 - P b T i O_3$  からなるペロブスカイト型酸化物を主成分としたことを特徴とする請求項 8 記載の積層型圧電素子。

## 【請求項 10】

前記圧電体がペロブスカイト型酸化物を主成分としたことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

## 【請求項 11】

前記圧電体が  $P b Z r O_3 - P b T i O_3$  からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とし

たことを特徴とする請求項 10 記載の積層型圧電素子。

【請求項 12】

前記積層体の焼成温度が 900℃以上1000℃以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の積層型圧電素子

【請求項 13】

前記内部電極中の組成のずれが焼成前後で 5%以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の積層型圧電素子

【請求項 14】

前記積層型圧電素子の側面に外部電極を有し、前記側面に端部が露出する内部電極と端部が露出しない内部電極とが交互に構成されており、該端部が露出していない内部電極と外部電極間の圧電体部分に溝が形成されており、この溝内に、圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填されていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 15】

噴射口を有する収納容器と、該収納容器に収納された請求項 1 乃至 14 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置

【書類名】明細書

【発明の名称】積層型圧電素子およびこれを用いた噴射装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層型圧電素子および噴射装置に関し、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止装置等に搭載される駆動素子、ならびに燃焼圧センサ、ノックセンサ、加速度センサ、荷重センサ、超音波センサ、感圧センサ、ヨーレートセンサ等に搭載されるセンサ素子、ならびに圧電ジャイロ、圧電スイッチ、圧電トランス、圧電ブレーカー等に搭載される回路素子に用いられる積層型圧電素子および噴射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、積層型圧電素子としては、圧電体と電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁器と内部電極板を交互に積層したスタックタイプの２種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、薄層化に対して有利であることと、耐久性に対して有利であることから、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが優位性を示しつつある。

【0003】

図２は、従来の積層型電子部品として代表的な積層コンデンサを示すもので、誘電体２１と内部電極２２が交互に積層されているが、内部電極２２は誘電体２１主面全体には形成されておらず、いわゆる部分電極構造となっている。この部分電極構造の内部電極２２を左右互い違いに積層することで、積層型電子部品の側面に形成された外部電極２３に内部電極２２を一層おきに交互に接続することができる（例えば、特許文献１参照）。

【0004】

図１は、従来の積層型圧電素子を示すもので、圧電体１１と内部電極１２が交互に積層されているが、内部電極１２は圧電体１１主面全体には形成されておらず、いわゆる部分電極構造となっている。この部分電極構造の内部電極１２を左右互い違いに積層することで、積層型電子部品の側面に形成された外部電極１５に内部電極１２を一層おきに交互に接続することができる。基本構造は図２の積層コンデンサと同じであり、セラミックグリーンシートに内部電極ペーストを所定の電極構造となるパターンで印刷し、この内部電極ペーストが布されたグリーンシートを複数積層して積層積層体を作製し、これを焼成して積層体を作製していた（例えば、特許文献２参照）。

【0005】

このような積層型圧電素子は、圧電体１１と内部電極１２が交互に積層されて柱状積層体１３が形成され、その積層方向における両端面には不活性層１４が積層されている。内部電極１２は、その一方の端部が左右交互に外部電極１５と左右各々一層起きに導通するように形成されている。積層型圧電アクチュエータとして使用する場合には、外部電極１５にさらにリード線が半田により固定される場合がある。

【0006】

また、内部電極としては、銀とパラジウムの合金が用いられ、さらに、圧電体と内部電極を同時焼成するために、内部電極の金属組成は、銀７０重量％、パラジウム３０重量％にして用いていた（例えば、特許文献３参照）。

【0007】

これは、銀７０重量％、パラジウム３０重量％の組成において、固相線１１５０℃、液相線１２２０℃であることと、 $PbZrO_3-PbTiO_3$  からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とした圧電体の最適焼結温度が１２００℃近傍であったからである。

【0008】

このように、銀１００％の金属組成からなる内部電極ではなく、パラジウムを含む銀・パラジウム合金含有の金属組成からなる内部電極を用いるのは、パラジウムを含まない銀

100%組成では、一对の対向する電極間に電位差を与えた場合、その一对の電極のうちの正極から負極へ電極中の銀が素子表面を伝わって移動するという、いわゆるシルバー・マイグレーション現象が生じるからである。この現象は、高温、高湿の雰囲気中で、特に著しく発生する。

#### 【0009】

ところで、近年においては、小型の圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長時間連続駆動させることが行われている。

【特許文献1】実開昭60-99522号公報

【特許文献2】特開昭61-133715号公報

【特許文献3】実開平1-130568号公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0010】

しかしながら、圧電体は使用する環境温度により変位量が増加する特性を有していることから、素子温度が上昇することで、圧電アクチュエータ変位量が増加する問題があった。また、変位量が増加中に増加することで電圧制御する電源に対する負荷変動が生じ、電源に負担をかける問題が生じていた。さらには、変位量の増加率が大きいと、変位量自体が急激に劣化するだけでなく、素子温度上昇が放熱量を上回ると熱暴走現象が生じて素子が破壊する問題があった。

#### 【0011】

そこで、内部電極を比抵抗の低い組成とするために銀の組成比を多くする試みも行われていたが、緻密な電極構造にすることができずに、電極抵抗値が逆に高抵抗になる問題があった。

#### 【0012】

即ち、従来、積層型圧電素子に用いられてきた銀70重量%、パラジウム30重量%の組成ではパラジウムの1.5倍の高抵抗な特性になるのである。しかも、内部電極の焼結密度が低くなれば、さらに高抵抗の電極になるのである。

#### 【0013】

また、このような積層型圧電素子では、圧電アクチュエータを駆動すると、所望の変位量が次第に変化して、装置が誤作動する問題を生じていたことから、長期間連続運転における素子変化量の抑制と耐久性向上が求められていた。

#### 【0014】

本発明は、高電圧、高圧力下で圧電アクチュエータを長期間連続駆動させた場合でも、変位量が増加することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子および噴射装置を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0015】

本発明の積層型圧電素子は、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物が周期律表V I I I族金属およびI b族金属を主成分として、前期V I I I族金属の含有量をM1(重量%)、I b族金属の含有量をM2(重量%)としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足することを特徴とする。

#### 【0016】

これにより、このような積層型圧電素子では、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。また同時に、連続

駆動させても、シルバー・マイグレーション現象が生じることなく、高温、高湿の雰囲気中でも、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0017】

また、本発明の積層型圧電素子は、V I I I 族金属が N i、P t、P d、R h、I r、R u、O s のうち少なくとも 1 種以上であり、I b 族金属が C u、A g、A u のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする。

【0018】

これにより、このような積層型圧電素子では、内部電極の原料を、合金原料、混合粉原料のいずれも使用することができるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0019】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記 V I I I 族金属が P t、P d のうち少なくとも 1 種以上であり、I b 族金属が A g、A u のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする。

【0020】

これにより、このような積層型圧電素子では、耐熱性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0021】

同時に、このような積層型圧電素子では、駆動時の変位にて生じる応力を緩和することができるとともに、耐熱性および耐酸化性ならびに熱伝導性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0022】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記 I b 族金属が C u であることを特徴とする。

【0023】

これにより、このような積層型圧電素子では、熱伝導特性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0024】

また、本発明の積層型圧電素子は、少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの素子抵抗を  $\rho_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの素子抵抗を  $\rho_{Pd}$  とした時、前記素子抵抗  $\rho$  が、 $\rho_{Ag} < \rho < \rho_{Pd}$  となることを特徴とする。

【0025】

これにより、このような積層型圧電素子では、耐熱性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0026】

また、本発明の積層型圧電素子は、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの内部電極の導電率を $\sigma_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの内部電極導電率を $\sigma_{Pd}$ とした時、前記内部電極導電率 $\sigma$ が、 $\sigma_{Pd} < \sigma < \sigma_{Ag}$ となることを特徴とする。

## 【0027】

これにより、このような積層型圧電素子では、耐熱性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0028】

また、本発明の積層型圧電素子は、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が $1\mu m$ 以上であるものが金属組成物の80体積%以上存在することを特徴とする。

## 【0029】

これにより、このような積層型圧電素子では、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0030】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記内部電極中に金属組成物とともに無機組成物を添加したことを特徴とする。

## 【0031】

これにより、このような積層型圧電素子では、内部電極と圧電体を強固に結合することができるとともに、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0032】

また、前記無機組成物が $PbZrO_3 - PbTiO_3$ からなるペロブスカイト型酸化物を主成分としたことを特徴とする。

## 【0033】

これにより、このような積層型圧電素子では、内部電極と圧電体を強固に結合することができるとともに、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0034】

また、前記圧電体がペロブスカイト型酸化物を主成分としたことを特徴とする。

## 【0035】

これにより、このような積層型圧電素子では、圧電体と内部電極を同時焼成することができるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0036】

また、前記圧電体が $PbZrO_3 - PbTiO_3$ からなるペロブスカイト型酸化物を主



成分としたことを特徴とする。

【0037】

これにより、このような積層型圧電素子では、変位量を大きくできるとともに、内部電極の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0038】

また、前記積層体の焼成温度が900℃以上1000℃以下であることを特徴とする。これにより、圧電体と電極とを強固に結合することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0039】

また、前記内部電極中の組成のずれが焼成前後で5%以下であることを特徴とする。これにより、電極が硬くなることを抑制することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0040】

また、前記積層型圧電素子の側面に外部電極を有し、前記側面に端部が露出する内部電極と端部が露出しない内部電極とが交互に構成されており、該端部が露出していない内部電極と外部電極間の圧電体部分に溝が形成されており、この溝内に、圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填されていることを特徴とする。

【0041】

これにより、このような積層型圧電素子では、駆動中の変位によって生じる応力を緩和することができることから、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0042】

また、本発明の噴射装置は、噴射口を有する収納容器と、該収納容器に収納された積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする。噴射装置では、上記したように、積層型圧電素子において、連続駆動させても、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の噴射装置を提供することができる。

【発明の効果】

【0043】

このような本発明の積層型圧電素子によれば、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物が周期律表V I I I族金属およびI b族金属を主成分として、前期V I I I族金属の含有量をM1（重量%）、I b族金属の含有量をM2（重量%）としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足することによって、連続駆動させても、素子温度の上昇を抑えることができるので、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、さらには熱暴走のない耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0044】

このような本発明の積層型圧電素子によれば、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの素子抵抗を $\rho_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの素子抵抗を $\rho_{Pd}$ とした時、前記素子抵抗 $\rho$ が、 $\rho_{Ag} < \rho < \rho_{Pd}$ としたことによって、連続駆動させても、素子温度の上昇を抑

えることができるので、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、さらには熱暴走のない耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

#### 【0045】

このような本発明の積層型圧電素子によれば、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極中の金属組成物成分が銀からなるときの内部電極の導電率を $\sigma_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの内部電極導電率を $\sigma_{Pd}$ とした時、前記内部電極導電率 $\sigma$ が、 $\sigma_{Pd} < \sigma < \sigma_{Ag}$ としたことによって、連続駆動させても、素子温度の上昇を抑えることができるので、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、さらには熱暴走のない耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

#### 【0046】

さらには、積層型圧電素子を連続駆動させても、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の噴射装置を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0047】

本発明の積層型圧電素子について以下に詳細に説明する。図1は本発明の積層型圧電素子の一実施例を示すもので、(a)は斜視図、(b)は圧電体層と内部電極層との積層状態を示す斜視展開図である。

#### 【0048】

積層型圧電素子は、圧電体11と内部電極12が交互に積層されて柱状積層体13が形成され、その積層方向における両端面には不活性層14が積層されている。

#### 【0049】

柱状積層体13の対向する側面には外部電極15が接合されており、該外部電極15には、積層されている内部電極12が一層おきに電氣的に接続されている。この外部電極15は、接続されている各内部電極12に圧電体11を逆圧電効果により変位させるに必要な電圧を共通に供給する作用をなす。

#### 【0050】

さらに、積層型圧電アクチュエータとして使用する場合には、外部電極15にはリード線が半田により接続固定される場合がある。このリード線は外部電極15を外部の電圧供給部に接続する作用をなす。

#### 【0051】

従来、連続駆動中の素子変位量を一定に保つには、連続駆動中の素子温度を一定に保つ方法や、素子温度に応じて駆動電圧を細かく制御することが用いられてきた。具体的には、素子温度をモニターしながら駆動電圧を制御したり、素子周辺温度を制御するために、放熱を積極的に行うヒートシンクを取り付けた構造などが用いられる。本発明においては、駆動により発生する素子自身の発熱を抑制させることを目的として、素子抵抗を小さくすることが好ましい。

#### 【0052】

特に、素子抵抗を小さくするには、内部電極の比抵抗値を小さくしたり、電極材料に熱伝導特性の優れた材料を用いることが好ましい。

#### 【0053】

また、効率良く素子内部の熱を素子の外側に伝達させるためには、熱を素子の外側に伝達する内部電極自体が、熱伝導特性の優れた材料を用いることが好ましい。さらに、内部電極自体が素子外部まで露出していることが好ましい。また、さらには、圧電体材料自体の持つ変位量の温度特性が、使用温度に関係なく一定であることが望ましいので、連続駆動中の素子温度変化に対して変位量が小さい圧電体材料が好ましい。

## 【0054】

電極材料の抵抗値を小さくするとは、電極材料に比抵抗の小さい材料を用いることと、ともに、電気伝導の経路を確保した緻密な電極構造にすることである。

## 【0055】

本発明の積層型圧電素子は、内部電極12中の金属組成物が、V I I I族金属とI b族金属を主成分とする。上記の金属組成物は耐熱性があることから、圧電体11と内部電極12を同時焼成することができる。

## 【0056】

そして、前記V I I I族金属の含有量をM1（重量%）、I b族金属の含有量をM2（重量%）としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足する金属組成物とする。

## 【0057】

本発明の内部電極金属成分の主成分の組成比を上記範囲に限定したのは、次の理由による。即ち、V I I I族金属が15重量%を超えると、内部電極12の比抵抗が大きくなり、積層型圧電素子を連続駆動させた場合、内部電極12が発熱する場合があるからである。また、内部電極2中のI b族金属の圧電体11へのマイグレーションを抑制するために、V I I I族金属が0.001重量%以上15重量%以下とすることが好ましい。また、積層型圧電素子の耐久性を向上させるという点では、0.1重量%以上10重量%以下が好ましい。また、熱伝導に優れ、より高い耐久性を必要とする場合は0.5重量%以上9.5重量%以下がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は2重量%以上8重量%以下がさらに好ましい。

## 【0058】

ここで、I b族金属が85重量%未満になると、内部電極12の比抵抗が大きくなり、積層型圧電素子を連続駆動させた場合、内部電極12が発熱する場合があるからである。また、内部金属12中のI b族金属の圧電体11へのマイグレーションを抑制するために、I b族金属が85重量%以上99.999重量%以下とすることが好ましい。また、積層型圧電素子の耐久性を向上させるという点では、90重量%以上99.9重量%以下が好ましい。また、より高い耐久性を必要とする場合は90.5重量%以上99.5重量%以下がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は92重量%以上98重量%以下がさらに好ましい。

## 【0059】

これら、内部電極12中の金属成分の重量%を示すM1、M2はE P M A (E l e c t r o n P r o b e M i c r o A n a l y s i s) 法等の分析方法で特定できる。

## 【0060】

また、本発明の内部電極12中の金属成分は、V I I I族金属がNi、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのうち少なくとも1種以上であり、I b族金属がCu、Ag、Auのうち少なくとも1種以上であることが好ましい。これは、近年における合金粉末合成技術において量産性に優れた金属組成であるからである。

## 【0061】

また、本発明の内部電極12中の金属成分は、V I I I族金属がPt、Pdのうち少なくとも1種以上であり、I b族金属がAg、Auのうち少なくとも1種以上であることが、より好ましい。これにより、耐熱性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極12の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極12部の発熱を抑制することができるからである。

## 【0062】

また、本発明の内部電極12中の金属成分は、I b族金属がCuであることが、より好ましい。

## 【0063】

これにより、このような積層型圧電素子では、熱伝導特性が優れた電極を形成できるとともに、内部電極12の比抵抗を小さくできることから、連続駆動させても、内部電極1

2部の発熱を抑制することができる。さらには、素子温度の上昇を抑制することで、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0064】

また、本発明の積層型圧電素子は、内部電極12形成物が銀100%からなるときの素子抵抗を $\rho_{Ag}$ 、内部電極12形成物がパラジウム100%からなるときの素子抵抗を $\rho_{Pd}$ とした時、前記素子抵抗 $\rho$ を、 $\rho_{Ag} < \rho < \rho_{Pd}$ したことを特徴とする。

【0065】

すなわち、従来、積層型圧電素子の内部電極12に用いられてきた銀70重量%、パラジウム30重量%の組成ではパラジウムの1.5倍の高抵抗な特性になるが、上記範囲内の素子抵抗 $\rho$ とするためには、銀80重量%以上かつパラジウム20重量%以下とすればよい。ただし、内部電極12の焼結密度が低くなれば、それに伴い、高抵抗になるため、さらに銀の組成比を高めること、あるいはさらに低抵抗の電極材料を用いることが好ましい。さらに、電極自体が焼結して大きな粒子が結合した構造にすることで、電極抵抗が低く、電気伝導の経路を確保した緻密な内部電極12にすることができる。

【0066】

また、本発明の積層型圧電素子は、内部電極12形成物が銀100%からなるときの内部電極12の導電率を $\sigma_{Ag}$ 、内部電極12形成物がパラジウム100%からなるときの内部電極12導電率を $\sigma_{Pd}$ とした時、 $\sigma_{Pd} < \sigma < \sigma_{Ag}$ としたことを特徴とする。

【0067】

これは、素子抵抗を小さくするには、内部電極12の電気伝導率を高くすることである。すなわち、銀とパラジウムの合金において、パラジウムの比抵抗よりも低抵抗とするには、銀80重量%以上かつパラジウム20重量%以下であるが、内部電極12の焼結密度が低くなれば、それに伴い、高抵抗になるため、さらに銀の組成比を高めること、あるいはさらに低抵抗の電極材料を用いることが好ましい。さらに、電極自体が焼結して大きな粒子が結合した構造にすることで、電極抵抗が低く、電気伝導の経路を確保した緻密な内部電極12にすることができる。

【0068】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、内部電極12を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が $1\mu m$ 以上であるものが金属組成物に対して80体積%以上存在するようにしたことを特徴とする。

【0069】

これは、電極自体が焼結して大きな粒子が結合した構造にすることで、電極抵抗が低く、電気伝導の経路を確保した緻密な内部電極12にすることができるためである。好ましくは、内部電極12を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が $1\mu m$ 以上であるものが90体積%以上存在することで、さらに素子抵抗が小さくなる。さらに好ましくは、内部電極12を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が $1\mu m$ 以上であるものが95体積%以上存在することで、さらに素子抵抗が小さくなる。

【0070】

なお、上記最大径が $1\mu m$ 以上であるものの比率については、内部電極12中の金属組成物をSEM等の分析方法で、結晶粒子の最大径が $1\mu m$ 以上となる箇所を特定して、体積%に換算することができる。

【0071】

また、本発明の内部電極12中には、金属組成物とともに無機組成物を添加することが好ましい。これにより、内部電極12と圧電体11を強固に結合することができる。

【0072】

また、内部電極12と圧電体11を強固に結合することができるとともに、連続駆動させても、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、前記無機組成物が $PbZrO_3-PbTiO_3$ からなるペロプスカイト型酸化物を主成分とすることが、より好ましい。

## 【0073】

また、本発明の圧電体11がペロブスカイト型酸化物を主成分とすることが好ましい。これは、例えば、チタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) を代表とするペロブスカイト型圧電セラミックス材料等で形成されると、その圧電特性を示す圧電歪み定数  $d_{33}$  が高いことから、変位量を大きくできる。さらに、優れた圧電素子として機能するとともに圧電体11と内部電極12を同時焼成することができる。

## 【0074】

また、本発明の圧電体11が  $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$  からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とすることが好ましい。このような積層型圧電素子では、さらに圧電歪み定数  $d_{33}$  が高いことから、変位量を大きくできる。

## 【0075】

また、本発明の積層型圧電素子は、焼成温度が  $900^\circ\text{C}$  以上  $1000^\circ\text{C}$  以下であることが好ましい。これにより、圧電体11と電極とを強固に結合することができる。 $900^\circ\text{C}$  以上  $1000^\circ\text{C}$  以下に限定したのは、 $900^\circ\text{C}$  より低温では、緻密な圧電体11を作製することができず、 $1000^\circ\text{C}$  を超えると焼成時の電極の収縮と圧電体11の収縮のずれを起因とした応力が大きくなり、連続駆動時にクラックが発生する理由からである。

## 【0076】

また、内部電極12中の組成のずれが焼成前後で5%以下であることが好ましい。これは、内部電極12中の組成のずれが焼成前後で5%を超えると、内部電極12中の金属材料が圧電体11へのマイグレーションが多くなり、積層型圧電素子の駆動による伸縮に対して、内部電極12が追従できなくなる可能性がある。

## 【0077】

ここで、内部電極12中の組成のずれとは、内部電極12を構成する元素が焼成によって蒸発、または圧電体11へ拡散することにより内部電極12の組成が変わる変化率を示している。

## 【0078】

また、本発明の積層型圧電素子の側面に端部が露出する内部電極12と端部が露出しない内部電極12とが交互に構成されており、前記端部が露出していない内部電極12と外部電極15間の圧電体部分に溝が形成されており、この溝内に、圧電体12よりもヤング率の低い絶縁体が形成されていることが好ましい。これにより、このような積層型圧電素子では、駆動中の変位によって生じる応力を緩和することができることから、連続駆動させても、内部電極12の発熱を抑制することができる。

## 【0079】

また、本発明の積層型圧電素子は単板あるいは積層数が1またはそれ以上からなることが好ましい。これにより、素子に加えられた圧力を電圧に変換することも、素子に電圧を加えることで素子を変位させることもできるため、素子駆動中に予期せぬ応力を加えられたとしても、応力を分散して電圧変換することで、応力緩和させることができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

## 【0080】

本発明の積層型圧電素子は、以下のようにして製造する。まず、柱状積層体13を作製する。複数の圧電体11と複数の内部電極12とを交互に積層して成る柱状積層体13は、例えば、 $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$  からなるペロブスカイト型酸化物等の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子から成るバインダーと、DOP (フタル酸ジオチル)、DBP (フタル酸ジブチル) 等の可塑剤とを混合してスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成型法により圧電体11となるセラミックグリーンシートを作製する。

## 【0081】

次に、例えば、銀-パラジウム等の内部電極を構成する金属粉末にバインダー、可塑剤等を添加混合して導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上面にスクリーン印刷等によって  $1 \sim 40 \mu\text{m}$  の厚みに印刷する。

## 【0082】

そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートを複数積層し、この積層体について所定の温度で脱バインダーを行った後、900～1200℃で焼成することによって柱状積層体13が作製される。好ましくは上述したように900～1000℃で焼成する。

## 【0083】

尚、柱状積層体13は、上記製法によって作製されるものに限定されるものではなく、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体13を作製できれば、どのような製法によって形成されても良い。

## 【0084】

その後、積層型圧電素子の側面に端部が露出する内部電極と端部が露出しない内部電極とが交互に構成して、該端部が露出していない内部電極と外部電極間の圧電体部分に溝を形成して、この溝内に、圧電体よりもヤング率の低い、例えば樹脂またはゴム等の絶縁体を形成させる場合には、内部ダイシング装置等により柱状積層体13の側面に一層おきに溝を形成する。

## 【0085】

外部電極15は構成する導電材はアクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、ヤング率の低い銀、若しくは銀が主成分の合金が望ましい。

## 【0086】

ガラス粉末に、バインダーを加えて銀ガラス導電性ペーストを作製し、これをシート状に成形し、乾燥した（溶媒を飛散させた）シートの生密度を $6 \sim 9 \text{ g/cm}^3$ に制御し、このシートを、柱状積層体13の外部電極形成面に転写し、ガラスの軟化点よりも高い温度、且つ銀の融点（965℃）以下の温度で、且つ焼成温度（℃）の $4/5$ 以下の温度で焼き付けを行うことにより、銀ガラス導電性ペーストを用いて作製したシート中のバインダー成分が飛散消失し、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極15を形成することができる。

## 【0087】

なお、前記銀ガラス導電性ペーストの焼き付け温度は、ネック部を有効的に形成し、銀ガラス導電性ペースト中の銀と内部電極12を拡散接合させ、また、外部電極15中の空隙を有効に残存させ、さらには、外部電極15と柱状積層体13側面とを部分的に接合させるという点から、550～700℃が望ましい。また、銀ガラス導電性ペースト中のガラス成分の軟化点は、500～700℃が望ましい。

## 【0088】

焼き付け温度が700℃より高い場合には、銀ガラス導電性ペーストの銀粉末の焼結が進みすぎ、有効的な3次元網目構造をなす多孔質導電体を形成することができず、外部電極15が緻密になりすぎてしまい、結果として外部電極15のヤング率が高くなりすぎ駆動時の応力を十分に吸収することができずに外部電極15が断線してしまう可能性がある。好ましくは、ガラスの軟化点の1.2倍以内の温度で焼き付けを行った方がよい。

## 【0089】

一方、焼き付け温度が550℃よりも低い場合には、内部電極12端部と外部電極15の間で十分に拡散接合がなされないために、ネック部が形成されず、駆動時に内部電極12と外部電極15の間でスパークを起こしてしまう可能性がある。

## 【0090】

なお、銀ガラス導電性ペーストのシートの厚みは、圧電体11の厚みよりも薄いことが望ましい。さらに好ましくは、アクチュエータの伸縮に追従するという点から、 $50 \mu\text{m}$ 以下がよい。

## 【0091】

次に、外部電極15を形成した柱状積層体13をシリコーンゴム溶液に浸漬するとともに、シリコーンゴム溶液を真空脱気することにより、柱状積層体13の溝内部にシリコーンゴムを充填し、その後シリコーンゴム溶液から柱状積層体13を引き上げ、柱状積層体

13の側面にシリコンゴムをコーティングする。その後、溝内部に充填、及び柱状積層体13の側面にコーティングした前記シリコンゴムを硬化させる。

【0092】

その後、外部電極15にリード線を接続することにより本発明の積層型圧電素子が完成する。

【0093】

そして、リード線を介して一对の外部電極15に0.1~3kV/mmの直流電圧を印加し、柱状積層体13を分極処理することによって、製品としての積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線を外部の電圧供給部に接続し、リード線及び外部電極15を介して内部電極12に電圧を印加させれば、各圧電体11は逆圧電効果によって大きく変位し、これによって例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能する。

【0094】

以上のように構成された積層型圧電素子は、内部電極12中の金属組成物がV I I I族金属およびI b族金属を主成分として、前記電極中のV I I I族金属の含有量をM1重量%、I b族金属の含有量をM2重量%としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足するため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、熱暴走を生じることを防ぐことができ、高信頼性のアクチュエータを提供することができる。

【0095】

また、以上のように構成された積層型圧電素子は、内部電極12中の金属組成物成分が銀からなるときの素子抵抗を $\rho_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの素子抵抗を $\rho_{Pd}$ とした時、前記素子抵抗 $\rho$ が、 $\rho_{Ag} < \rho < \rho_{Pd}$ となるため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0096】

また、以上のように構成された積層型圧電素子は、内部電極12中の金属組成物成分が銀からなるときの内部電極12の導電率を $\sigma_{Ag}$ 、金属組成物成分がパラジウムからなるときの内部電極12導電率を $\sigma_{Pd}$ とした時、前記内部電極12導電率 $\sigma$ が、 $\sigma_{Pd} < \sigma < \sigma_{Ag}$ となるため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0097】

また、以上のように構成された積層型圧電素子は、前記内部電極12を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が1 $\mu$ m以上であるものが80体積%以上存在するため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0098】

さらに、本発明では、外部電極15の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材を形成してもよい。この場合には、外部電極15の外面に導電性補助部材を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材に流すことができ、外部電極15に流れる電流を低減できるという理由から、外部電極15が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。さらには、導電性接着剤中に金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板を埋設しているため、前記導電性接着剤にクラックが生じるのを防ぐことができる。

【0099】

金属のメッシュとは金属線を編み込んだものであり、メッシュ状の金属板とは、金属板

に孔を形成してメッシュ状にしたものをいう。

#### 【0100】

さらに、前記導電性補助部材を構成する導電性接着剤は銀粉末を分散させたポリイミド樹脂からなることが望ましい。即ち、比抵抗の低い銀粉末を、耐熱性の高いポリイミド樹脂に分散させることにより、高温での使用に際しても、抵抗値が低く且つ高い接着強度を維持した導電性補助部材を形成することができる。さらに望ましくは、前記導電性粒子はフレーク状や針状などの非球形の粒子であることが望ましい。これは、導電性粒子の形状をフレーク状や針状などの非球形の粒子とすることにより、該導電性粒子間の絡み合いを強固にすることができ、該導電性接着剤のせん断強度をより高めることができるためである。

#### 【0101】

本発明の積層型圧電素子はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば種々の変更は可能である。

#### 【0102】

また、上記例では、柱状積層体13の対向する側面に外部電極15を形成した例について説明したが、本発明では、例えば隣設する側面に一对の外部電極を形成してもよい。

#### 【0103】

図3は、本発明の噴射装置を示すもので、図において符号31は収納容器を示している。この収納容器31の一端には噴射孔33が設けられ、また収納容器31内には、噴射孔33を開閉することができるニードルバルブ35が収容されている。

#### 【0104】

噴射孔33には燃料通路37が連通可能に設けられ、この燃料通路37は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路37に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、ニードルバルブ35が噴射孔33を開放すると、燃料通路37に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

#### 【0105】

また、ニードルバルブ35の上端部は直径が大きくなっており、収納容器31に形成されたシリンダ39と摺動可能なピストン41となっている。そして、収納容器31内には、上記した積層型圧電素子からなる圧電アクチュエータ43が収納されている。

#### 【0106】

このような噴射装置では、圧電アクチュエータ43が電圧を印加されて伸長すると、ピストン41が押圧され、ニードルバルブ35が噴射孔33を閉塞し、燃料の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ43が収縮し、皿バネ45がピストン41を押し返し、噴射孔33が燃料通路37と連通して燃料の噴射が行われるようになる。

#### 【0107】

また、本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止装置等に搭載される駆動素子、ならびに燃焼圧センサ、ノックセンサ、加速度センサ、荷重センサ、超音波センサ、感圧センサ、ヨーレートセンサ等に搭載されるセンサ素子、ならびに圧電ジャイロ、圧電スイッチ、圧電トランス、圧電ブレーカー等に搭載される回路素子以外であっても、圧電特性を用いた素子であれば、用いることが可能であることは言うまでもない。

#### 【実施例1】

#### 【0108】

図1の積層型圧電素子を以下のように構成した。異なる内部電極材料組成からなる積層型圧電素子を用いて、種々の変位特性を有する積層型圧電素子の耐久特性を調べた。

#### 【0109】

まず、柱状積層体を作製した。圧電体は厚み150 $\mu$ mのチタン酸ジルコン酸鉛(PbZrO<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub>)、で形成し、内部電極は厚み3 $\mu$ mにて形成し、圧電体及び内



部電極の各々の積層数は300層とした。なお、焼成温度は1000℃であった。

#### 【0110】

その後、ダイシング装置により柱状積層体の側面の内部電極の端部に一層おきに深さ50  $\mu\text{m}$ 、幅50  $\mu\text{m}$ の溝を形成した。

#### 【0111】

次に、平均粒径2  $\mu\text{m}$ のフレーク状の銀粉末を90体積%と、残部が平均粒径2  $\mu\text{m}$ のケイ素を主成分とする軟化点が640℃の非晶質のガラス粉末10体積%との混合物に、バインダーを銀粉末とガラス粉末の合計重量100質量部に対して8質量部添加し、十分に混合して銀ガラス導電性ペーストを作製した。このようにして作製した銀ガラス導電性ペーストを離型フィルム上にスクリーン印刷によって形成し、乾燥後、離型フィルムより剥がして、銀ガラス導電性ペーストのシートを得た。このシートの生密度をアルキメデス法にて測定したところ、6.5  $\text{g}/\text{cm}^3$ であった。

#### 【0112】

次に、前記銀ガラスペーストのシートを柱状積層体の外部電極面に転写し、650℃で30分焼き付けを行い、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極を形成した。なお、この時の外部電極の空隙率は、外部電極の断面写真を画像解析装置を用いて測定したところ40%であった。

#### 【0113】

その後、外部電極にリード線を接続し、正極及び負極の外部電極にリード線を介して3  $\text{kV}/\text{mm}$ の直流電界を15分間印加して分極処理を行い、図1に示すような積層型圧電素子を作製した。

#### 【0114】

得られた積層型圧電素子に170Vの直流電圧を印加した結果、積層方向に45  $\mu\text{m}$ の変位量が得られた。さらに、この積層型圧電素子に室温で0～+170Vの交流電圧を150Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った。

#### 【0115】

内部電極金属組成を変えて、積層型圧電素子が、駆動回数 $1 \times 10^9$ 回に達した時の積層型圧電素子変位量をそれぞれ測定して、連続駆動を開始する前の積層型圧電素子初期状態の変位量と比較して、変位量の変化率と積層型圧電素子の劣化の度合いを算出した。結果は表1に示すとおりである。

【表1】

No	内部電極金属中のPd (重量%)	内部電極金属中のPt (重量%)	内部電極金属中のAg (重量%)	内部電極金属中のCu (重量%)	駆動回数 $1 \times 10^9$ 後の 変位量変化率 (%)
*1	0	0	100	0	マイグレーションで破壊
2	0.001	0	99.999	0	0.7
3	0.01	0	99.99	0	0.7
4	0.1	0	99.9	0	0.4
5	0.5	0	99.5	0	0.2
6	1	0	99	0	0.2
7	2	0	98	0	0
8	4	1	95	0	0
9	5	0	95	0	0
10	8	0	92	0	0
11	9	0	91	0	0.2
12	9.5	0	90.5	0	0.2
13	10	0	90	0	0.4
14	15	0	85	0	0.7
15	0.001	0	0	99.999	0.2
*16	20	0	80	0	0.9
*17	30	0	70	0	0.9
*18	100	0	0	0	0.9

\*本発明の範囲外である

## 【0116】

同表より、内部電極を銀100%にした場合（No. 1）は、シルバーマイグレーションにより積層型圧電素子は破損して連続駆動が不可能となるが、内部電極中の金属組成物がV I I I族金属（Pd、Pt）の含有量をM1（重量%）、I b族金属（Ag、Cu）の含有量をM2（重量%）としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足する金属組成物（No. 2～15）を主成分とすることで、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができた。特に積層型圧電素子の耐久性を向上させるという点では、M1は、0.1重量%以上10以下（No. 4～13）が好ましい結果となり、より高い耐久性を必要とする場合は0.5以上9.5以下（No. 5～12）がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は2%以上8以下（No. 7～10）がさらに好ましい結果が得られた。同様に、特に積層型圧電素子の耐久性を向上させるという点では、M2は、90以上99.9以下が好ましい結果となり、より高い耐久性を必要とする場合は90.5以上99.5以下がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は92以上98以下がさらに好ましい結果が得られた。

## 【実施例2】

## 【0117】

次に、素子抵抗と、積層型圧電素子が、駆動回数 $1 \times 10^9$ 回に達した時の積層型圧電素子変位量をそれぞれ測定して、連続駆動を開始する前の積層型圧電素子初期状態の変位量と比較して、変位量の変化率を算出して、表2に記載した。

【表2】

No	内部電極金属中のPd (重量%)	内部電極金属中のPt (重量%)	内部電極金属中のAg (重量%)	素子抵抗( $\Omega$ )	銀100%組成 内部電極の 素子抵抗で 規格化した 素子抵抗	駆動回数 $1 \times 10^9$ 回の 変位量変化率 (%)
*1	0	0	100	$2.4 \times 10^8$	1.0	マイグレーションで破損
2	0.001	0	99.999	$3.0 \times 10^8$	1.3	0.7
3	0.01	0	99.99	$3.1 \times 10^8$	1.3	0.7
4	0.1	0	99.9	$3.4 \times 10^8$	1.4	0.4
5	0.5	0	99.5	$4.0 \times 10^8$	1.7	0.2
6	1	0	99	$5.0 \times 10^8$	2.1	0.2
7	2	0	98	$5.7 \times 10^8$	2.4	0
8	4	1	95	$8.6 \times 10^8$	3.6	0
9	5	0	95	$1.0 \times 10^9$	4.2	0
10	8	0	92	$1.45 \times 10^9$	6.0	0
11	9	0	91	$1.58 \times 10^9$	6.6	0.2
12	9.5	0	90.5	$1.65 \times 10^9$	6.9	0.2
13	10	0	90	$1.72 \times 10^9$	7.2	0.4
14	15	0	85	$2.3 \times 10^9$	9.6	0.7
*15	20	0	80	$2.88 \times 10^9$	12.0	0.9
*16	30	0	70	$4.6 \times 10^9$	19.2	0.9
*17	100	0	0	$2.4 \times 10^8$	10.0	0.9

\*本発明の範囲外である

## 【0118】

同表より、内部電極の比抵抗 $\rho$ を $\rho_{Ag} < \rho < \rho_{Pd}$ とすることで、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができ、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができた。

## 【実施例3】

## 【0119】

次に、内部電極導電率と、積層型圧電素子が、駆動回数 $1 \times 10^9$ 回に達した時の積層型圧電素子変位量をそれぞれ測定して、連続駆動を開始する前の積層型圧電素子初期状態の変位量と比較して、変位量の変化率を算出して、表3に記載した。

【表 3】

No	内部電極金属中のPd (重量%)	内部電極金属中のPt (重量%)	内部電極金属中のAg (重量%)	内部電極導電率 ( $S \cdot cm^{-1}$ )	銀100%組成 内部電極の 導電率で 規格化した 内部電極導電率	駆動回数 $1 \times 10^9$ 後の 変位量変化率 (%)
*1	0	0	100	600000	1.00	マイグレーションで破壊
2	0.001	0	99.999	475000	0.79	0.7
3	0.01	0	99.99	455000	0.76	0.7
4	0.1	0	99.9	415000	0.69	0.4
5	0.5	0	99.5	360000	0.60	0.2
6	1	0	99	290000	0.48	0.2
7	2	0	98	250000	0.42	0
8	4	1	95	170000	0.28	0
9	5	0	95	140000	0.24	0
10	8	0	92	100000	0.17	0
11	9	0	91	90000	0.15	0.2
12	9.5	0	90.5	86000	0.14	0.2
13	10	0	90	83500	0.14	0.4
14	15	0	85	62500	0.10	0.7
*15	20	0	80	50000	0.08	0.9
*16	30	0	70	31000	0.05	0.9
*17	100	0	0	61000	0.10	0.9

\*本発明の範囲外である

## 【0120】

同表より、内部電極導電率  $\sigma$  を  $\sigma_{Pd} < \sigma < \sigma_{Ag}$  とすることで、連続駆動させても、内部電極部の発熱を抑制することができ、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができた。

## 【実施例 4】

## 【0121】

次に、前記内部電極を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子と、積層型圧電素子が、駆動回数  $1 \times 10^9$  回に達した時の積層型圧電素子変位量をそれぞれ測定して、連続駆動を開始する前の積層型圧電素子初期状態の変位量と比較して、変位量の変化率を算出して、表 4 に記載した。

【表 4】

No	内部電極金属中のPd (重量%)	内部電極金属中のPt (重量%)	内部電極金属中のAg (重量%)	内部電極における粒径 $1 \mu m$ 以上の 粒子の体積%	駆動回数 $1 \times 10^9$ 後の 変位量変化率
*1	0	0	100	70	マイグレーションで破壊
2	0.001	0	99.999	80	0.7
3	0.01	0	99.99	80	0.7
4	0.1	0	99.9	85	0.4
5	0.5	0	99.5	90	0.2
6	1	0	99	90	0.2
7	2	0	98	95	0
8	4	1	95	95	0
9	5	0	95	95	0
10	8	0	92	95	0
11	9	0	91	90	0.2
12	9.5	0	90.5	90	0.2
13	10	0	90	85	0.4
14	15	0	85	80	0.7
*15	20	0	80	70	0.9
*16	30	0	70	70	0.9
*17	100	0	0	70	0.9

\*本発明の範囲外である

## 【0122】

同表より、前記内部電極を構成する金属組成物成分からなる結晶粒子の最大径が  $1 \mu m$  以上であるものが 80 体積%以上存在することで、連続駆動させても、内部電極部の発熱

を抑制することができ、圧電アクチュエータ変位量を安定化することができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができた。

【0123】

なお、本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変更を行うことは何等差し支えない。

【図面の簡単な説明】

【0124】

【図1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は圧電体層と内部電極層との積層状態を示す斜視展開図である。

【図2】積層コンデンサを示すもので、(a)は斜視図、(b)は内部電極層との積層状態を示す斜視展開図である。

【0125】

斜視図である。

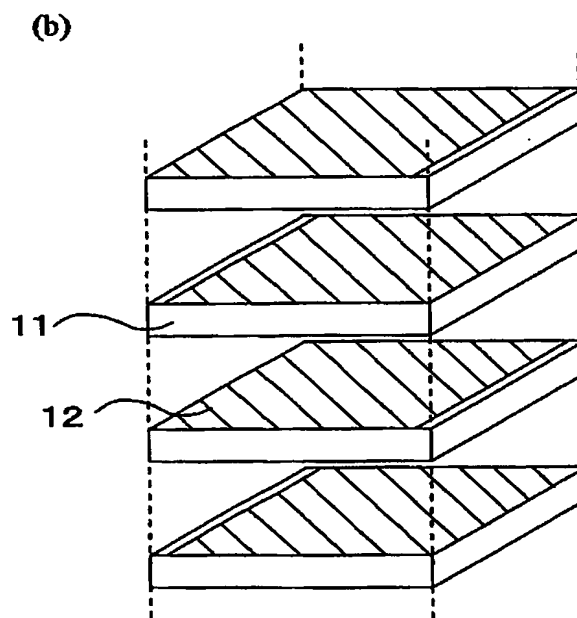
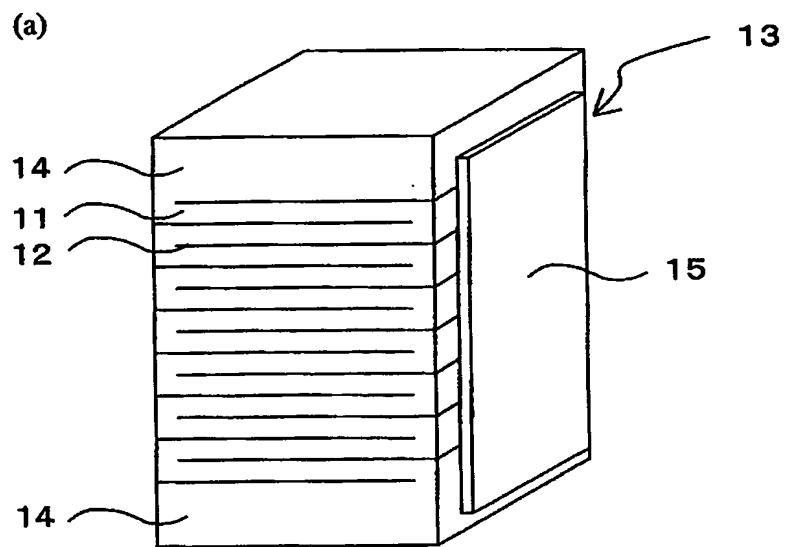
【図3】本発明の噴射装置を示す説明図である。

【符号の説明】

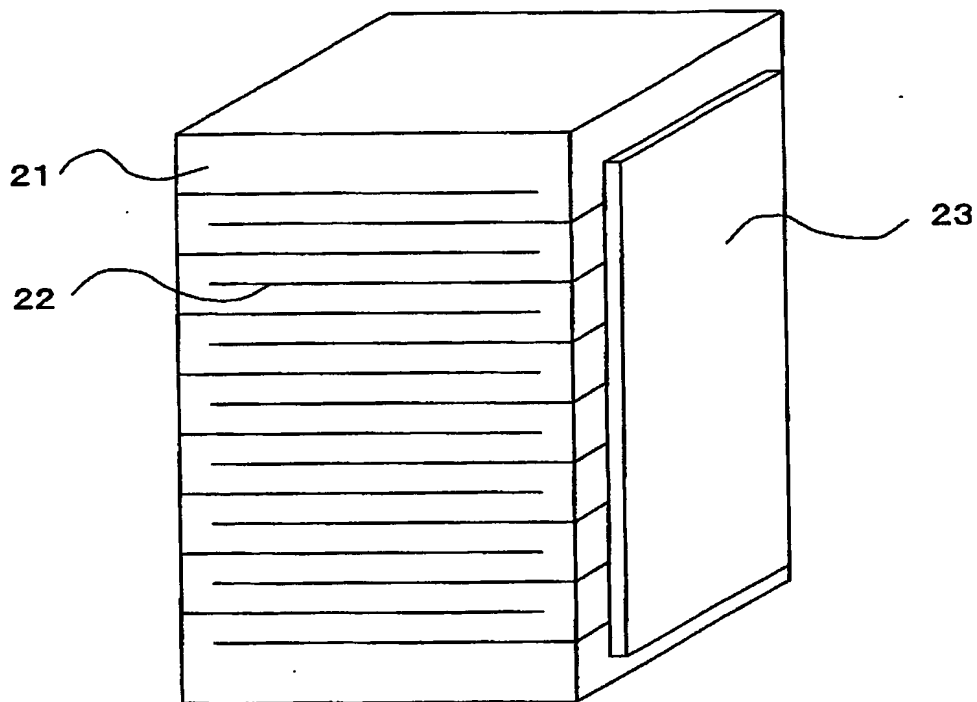
【0126】

- 11・・・圧電体
- 13・・・柱状積層体
- 12・・・内部電極
- 21・・・誘電体
- 22・・・内部電極
- 23・・・外部電極
- 31・・・収納容器
- 33・・・噴射孔
- 35・・・バルブ
- 43・・・圧電アクチュエータ

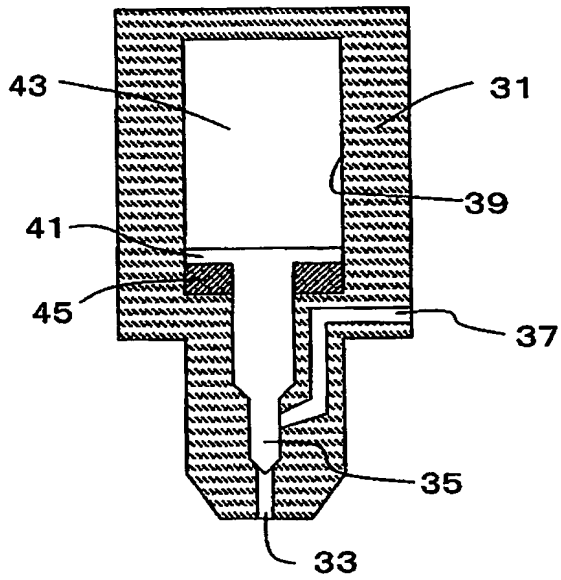
【書類名】 図面  
【図 1】



【図 2】



【図 3】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 連続駆動させても、所望の変位量が実効的に変化しないために、装置が誤作動することなく、耐久性に優れた高信頼性の積層型圧電素子を提供する。

【解決手段】 圧電体と電極とが交互に積層してなる積層型圧電素子において、内部電極中の金属組成物がV I I I 族金属およびI b 族金属を主成分として、前記電極中のV I I I 族金属の含有量をM1重量%、I b 族金属の含有量をM2重量%としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ とする。

【選択図】 図1



特願 2 0 0 3 - 3 8 5 3 7 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 6 3 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 8 年 8 月 2 1 日

[変更理由]

住所変更

住 所

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

氏 名

京セラ株式会社